



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

**BEZDRÁTOVÝ IR SENZOR PRO DETEKCI NARUŠENÍ
PROSTORU**

WIRELESS IR SENSOR FOR AREA INVASION DETECTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Suchý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jaromír Kolouch, CSc.

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**

Ústav radioelektroniky

Student: Lukáš Suchý

ID: 152248

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Bezdrátový IR senzor pro detekci narušení prostoru

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte monitorovací systém pro detekci narušení sledovaného prostoru s využitím PIR čidel s dosahem aspoň 5 metrů v senzorových jednotkách, které budou bezdrátově připojeny k centrální jednotce. Senzorové jednotky uvažujte s čipem SI4432. Systém bude uživateli hlásit stav - narušení monitorovaného prostoru zjištěné senzorovou jednotkou. Řešení vlastních senzorových jednotek musí dovolovat jejich bateriové napájení s životností baterie řádově v rocích.

Zpracujte podrobný návrh zapojení senzorové a centrální jednotky. Zvažte také možné řešení komunikace centrální jednotky s uživatelem. Navržené zařízení realizujte a ověřte jeho funkčnost.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MANN, Burkhard. C pro mikrokontroléry: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy - linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky. Praha: BEN, 2003. ISBN 9788073000776.

[2] KOSEK, Jiří. PHP - tvorba interaktivních internetových aplikací: podrobný průvodce. Praha: Grada, 1998. Průvodce (Grada). ISBN 80-7169-373-1.

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 30.5.2017

Vedoucí práce: doc. Ing. Jaromír Kolouch, CSc.

Konzultant: Ing. Ondřej Pavelka, Honeywell Brno

prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Anotace

Cílem této bakalářské práce je navrhnout zabezpečovací systém pro detekci pohybu osob založený na bateriově napájených senzorech připojených k centrální jednotce.

Klíčová slova

PIR, SI4432, GSM, GPRS, ATmega328P, AVR, DRF4432F20, spotřeba, zabezpečovací IR systém, bezdrátový senzor, detekce narušení prostoru

Anotation

The target of this Bachelor thesis is design security system for detection motion of people, focused on battery power sensores, which are connected on central unit.

Keywords

PIR, SI4432, GSM, GPRS, ATmega328P, AVR, DRF4432F20, consumption, security of IR sensor, sensor wireless, detection of disruption space

Bibliografická citace

SUCHÝ, L. *Bezdrátový senzor pro detekci narušení prostoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. 2016. 33. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jaromír Kolouch, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „*Bezdrátový IR senzor pro detekci a narušení prostoru*“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení z ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 29. května 2017

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jaromíru Kolouchovi, CSc. za pedagogickou pomoc a mnoho dalších cenných rad.

Tímto také děkuji Ing. Ondřeji Pavelkovi z firmy Honeywell za možnost odborné konzultace.

Seznam obrázků

Obr 1: Komerčně dostupné zařízení Jablotron JK-82. Zdroj [1].....	3
Obr 2: Blokové schéma.....	4
Obr 3: Blokové schéma senzoru.....	5
Obr 4: Funkce PIR detektoru.....	5
Obr 5: PIR senzor HC-SR50.....	6
Obr 6: Blokové schéma ATmega328P. Zdroj [4].....	7
Obr 7: Bezdrátový modul DRF4432F20.....	8
Obr 8: Li-Ion články z notebookové baterie.....	9
Obr 9: Základní zapojení stabilizátoru MCP1700. Zdroj [7].....	10
Obr 10: Blokové schéma centrální jednotky.....	13
Obr 11: SIM800.Zdroj [6].....	14
Obr 12: FIFO zásobník. Zdroj [5].....	14
Obr 13: Konfigurace paketu. Zdroj [5].....	15
Obr 14: Vývojový diagram pro příjem dat.....	16
Obr 15: Činování DPS.....	19
Obr 16: Osazení DPS senzor.....	20
Obr 17: Osazení DPS centrální jednotka.....	20
Obr 18: Programátor Pickit2.....	20
Obr 19: AVRDUDESS.....	21

Seznam tabulek

Tab 1: Parametry PIR senzoru.....	6
Tab 2: Základní parametry ATmega328P.....	7
Tab 3: Srovnání výdrže dle kapacit baterie.....	12
Tab 4: Parametry SIM modulu.....	14

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Průzkum trhu	2
2.1 Úvod.....	2
2.2 Komerční zařízení.....	2
2.3 Celkové shrnutí.....	3
3 Koncepce.....	4
4 Bezdrátový senzor.....	5
4.1 Jednotlivé bloky.....	5
4.1.1 PIR detektor.....	5
4.1.2 ATmega328P.....	7
4.1.3 DRF4432F20.....	8
4.1.4 Baterie.....	8
4.1.5 Stabilizátor napětí.....	9
4.2 Energetická bilance.....	10
5 Centrální jednotka.....	13
5.1 GSM/GPRS komunikace.....	14
5.2 Komunikace se senzory.....	14
5.3 Webové rozhraní.....	17
5.4. Obsluha GSM.....	17
5.3 Napájení centrální jednotky.....	18
6 Návrh a realizace.....	19
6.1 Realizace plošného spoje.....	19
6.2 Osazení DPS a oživení.....	19
6.2.1. Ukázka průběhu práce s DPS.....	19
7 Ovládání celého zařízení.....	21
8 Cenová kalkulace.....	22
9 Závěr.....	23

1 Úvod

Tématem projektu je ochrana prostoru, ať už se jedná o venkovní či vnitřní využití. Na trhu je poměrně široká nabídka zabezpečovacích systémů, které komunikují s uživatelem přes různé periferie, ať už se jedná o email, SMS či webové rozhraní. Základem těchto zařízení je centrální jednotka, ke které je možnost připojit jednotlivé moduly. Nabídka modulů je na trhu opravdu široká, od detektorů kouře až po detektory rozbití skla. Z pohledu finanční stránky, ve které je ve většině případů zahrnuta i samotná realizace, jsme na částece pohybující se v desítkách tisíc korun.

Cílem této práce je tedy navrhnout a následně realizovat zabezpečovací systém s centrální jednotkou, na kterou bude připojeno několik bezdrátových čidel. Centrální jednotka by měla shromažďovat data z jednotlivých senzorů a v případě, že vyhodnotí narušení prostoru, informovat majitele zabezpečeného prostoru. Informace o přerušení brány by měla být majiteli sdělena přes SMS zprávu. Dále by jednotka měla dostávat informace o senzorech, ať už se bude jednat o stav baterie, teplotu či případné poškození. K informacím by měl mít uživatel stálý přístup. Jednotlivé senzory budou napájeny z baterie, čili je zde kladen důraz na spotřebu, což je spojeno s životností baterie.

2 Průzkum trhu

2.1 Úvod

Myšlenka zabezpečení vlastního prostoru je stará jako lidstvo samo. Ať už se vrátíme zpět o pár desetiletí či staletí. Ochrana vlastního prostoru začala ohrazením. Lidé stavěli ploty, zábrany ať už kvůli krádežím či pocitu bezpečí. Jak plynula doba, rozvíjely se mechanismy zábran. Začaly se objevovat zámky na jednoduchý klíč, později FAB. Dnes má každý výrobce zámků a vložek svůj specifický klíč.

S příchodem techniky do našich životů vznikla myšlenka zabezpečovat prostor pomocí různých elektrotechnických vychytávek. Na českém trhu lze narazit na mnoho výrobců, ať tuzemských či zahraničních. Většina výrobců nabízí stavebnicový systém, který si s trochou vlastní píle zvládne sestavit téměř každý. Kdo by si však netroufl, je tu pro něj možnost nechat si prostor zabezpečit profesionální firmou.

2.2 Komerční zařízení

V této práci se budu zabývat návrhem zabezpečovacího zařízení pro detekci pohybu osob, uvedu tedy zařízení, které disponují podobnými parametry. Nabídka na trhu je opravdu široká. Níže vybrané produkty jsou vybrány na základě nabídek v internetových obchodech.

2.2.1 Jablotron JK-82:

Jedná se o sadu pro zabezpečení objektu, z výroby je vše nastaveno pro okamžité použití. Sada obsahuje:

- centrální GSM jednotku
- bezdrátovou klávesnici
- detektor pohybu
- detektor otevření dveří
- sirénu
- přístupovou kartu
- napájecí adaptér a zálohovací akumulátor
- uživatelský manuál

Cena: 13 000 Kč vč. DPH [1]

2.2.2 iGET SECURITY M2B:

Bezdrátový GSM systém s možností připojení až 99 bezdrátových čidel.

Sada obsahuje:

- centrální GSM jednotku
- 3x dálkové ovládání
- detektor pohybu
- detektor otevření dveří
- sirénu
- napájecí adaptér
- uživatelský manuál

Cena 2 888 Kč vč. DPH [2]

2.2.3 MICRA SET MS1:

Ústředna s komunikačním modulem GSM/SMS.

Sada obsahuje:

- centrální GSM jednotku
- bezdrátovou klávesnici
- detektor otevření dveří
- detektor pohybu
- uživatelský manuál
- napájecí adaptér

Cena 10 950 Kč vč. DPH [3]



Obr.1: Komerčně dostupné zařízení Jablotron JK-82. Zdroj [1]

2.3 Celkové shrnutí

Ačkoliv se to na první pohled nemusí zdát, nabídka na českém trhu je velmi široká. Záleží na každém uživateli, zda je ochoten si připlatit za kvalitu značkových zařízení nebo jestli zvolí levnější, v některých případech i kvalitnější provedení.

Obsahem každé sady je jen nutný základ pro nezbytnou funkčnost výrobku. Ve velké většině je třeba počítat s investicí do dalších modulů. Počet bezdrátových modulů je přímo úměrný ploše zabezpečení.

U všech výše zmíněných zabezpečovacích sad deklaroval výrobce výdrž baterie v PIR senzorech okolo dvou let. Ovšem dosah senzorů byl udáván maximálně kolem 100 m.

Tyto sady byly vybaveny pouze s možností obsluhy pomocí ovladačů, klávesnice a GSM. Samozřejmě je možnost rozšíření o GPRS, ovšem na základě růstu konečné ceny.

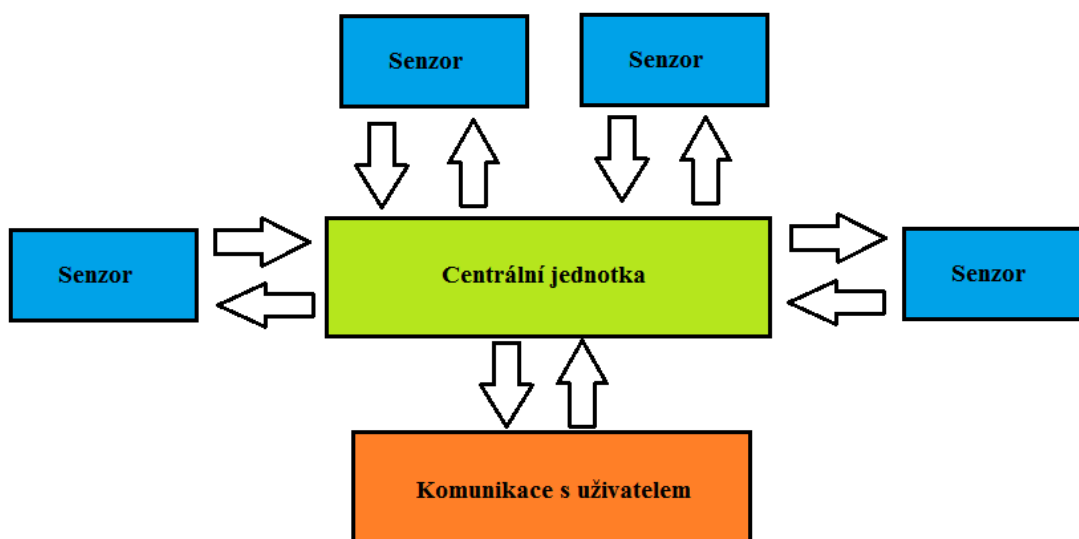
Pokud tedy do konečné částky zahrneme další PIR senzory, GPRS modul a napájecí adaptér, můžeme se u dražších zařízení dostat až na částku **20 000 Kč vč. DPH**. Do této částky není zahrnuta odborná montáž, bez které zákazník může ztratit záruku.

3 Koncepce

Klíčovou myšlenkou realizace je zabezpečení libovolného prostoru. Maximální plocha pro rozmístění senzorů je dána dosahem čidel, který je na volném prostoru 1000 metrů. Celý systém bude realizován na dvě části. První částí bude centrální jednotka a druhou senzory. Každý z těchto bloků bude zvláště zapouzdřen.

Komunikace mezi senzory a centrální jednotkou bude zajištěna bezdrátovými moduly, které obsahují čip SI4432. Nabídka na trhu je poměrně nízká. Většina modulů je zapojením naprosto stejná, všechny obsahují pouze základní zapojení integrovaného obvodu SI4432. Liší se pouze v označení, rozteči pinů a velikostí. V úvahu tedy přicházely tyto moduly: RF4432, RFM22B a DRF4432F20. Modul DRF4432F20 byl zvolen z důvodu nejlepší dostupnosti a jeho nízké ceny.

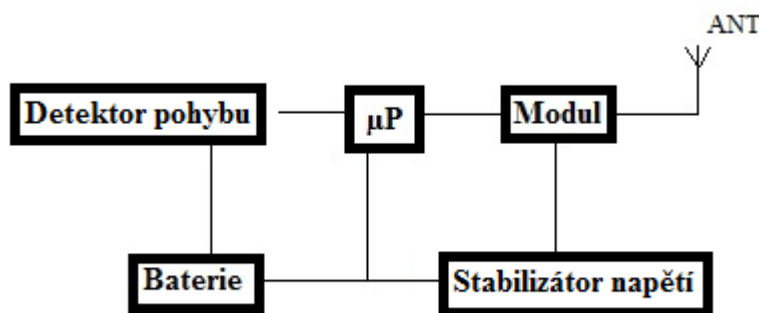
V dalších kapitolách bude popsán projekt podrobněji z hlediska funkčnosti, realizace jednotlivých částí, výroby, návrhu a v neposlední řadě také po finanční stránce.



Obr.2: Blokové schéma

4 Bezdrátový senzor

Cílem této práce je návrh a realizace zabezpečovacího systému. Sensory mají za úkol komunikovat s centrální jednotkou. Zde je kladen důraz na spotřebu jednotlivých senzorů z důvodu napájení bateriemi. Zde budeme muset laborovat s úspornými módy jak mikroprocesoru, tak i bezdrátového modulu. Je třeba mít také na paměti vlastní spotřebu stabilizátoru napětí pro DRF4432F0.



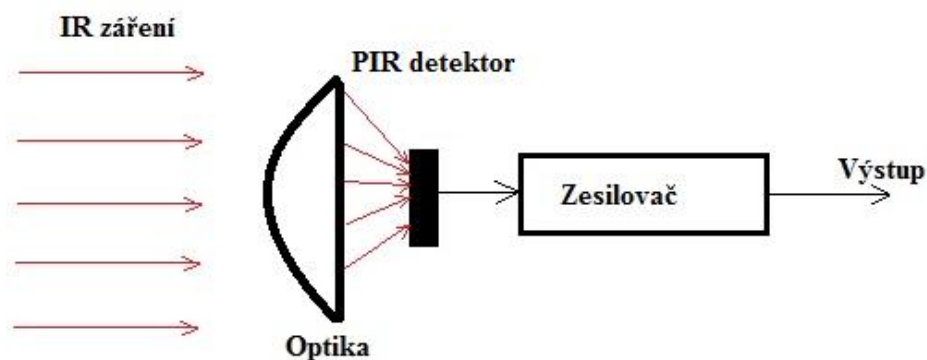
Obr.3: Blokové schéma senzoru

4.1 Jednotlivé bloky

V níže uvedených podkapitolách jsou uvedeny principy realizace samotných bloků, které dohromady tvoří senzor. Kompletní schéma bude umístěno v příloze této práce.

4.1.1 PIR detektor

Detektory pohybu PIR (passive infrared detector) fungují na principu pyroelektrického jevu, což je vlastně schopnost vytvořit za pomoci IR záření elektrické napětí na svých vývodech. Při vhodném zapojení může být tato součástka využita jako detektor pohybu a toho bude využito v našem zařízení.



Obr.4: Funkce PIR detektoru

Optika – Shromažďuje veškeré záření přímo na snímač. Snímaný prostor je rozdělen za pomoci mřížky, která je tvořena jednotlivými čočkami.

PIR detektor – Tvoří základ celého senzoru, jedná se o polovodičovou součástku (sloučenina tantalu a lithia). Je citlivý pro širokou škálu záření, proto je jeho součástí filtr, kterým prochází IR záření s vlnovou délkou několik μm .

Zpracování signálu – Je u každého senzoru řešeno individuálně. Na trhu lze zakoupit kupříkladu PIR senzor, který obsahuje relé. Pokud tedy senzor zaznamená pohyb, relé se sepne.

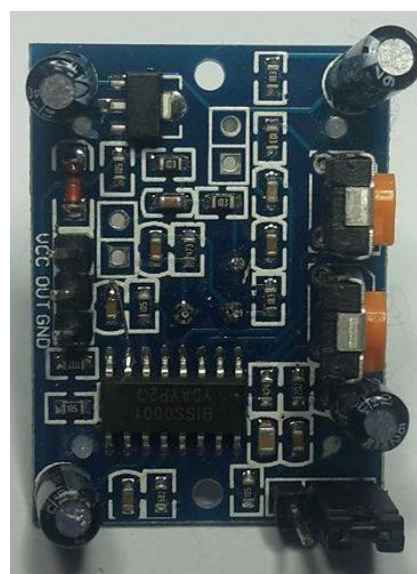
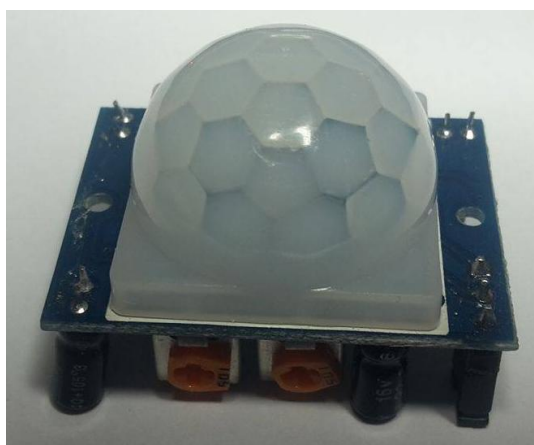
HC-SR50

Pro naši konstrukci jsem vybral PIR senzor HC-SR50, ať už kvůli nízké ceně, spotřebě nebo relativní jednoduchosti pro konstrukci. Senzor snímá pohyb pod úhlem 120° a to až do 10 metrů což je pro náš plně dostačující. Dalším klíčovým parametrem je klidová spotřeba, ta by měla být menší než $50 \mu\text{A}$. Senzor dále umožňuje nastavení citlivosti a času snímání, jenž se nastavuje pomocí dvou trimrů umístěných na plošném spoji. K samotné funkci PIR, pokud senzor zaznamená pohyb, na výstupu se objeví 3.3 V/HIGH. V níže uvedené tabulce jsou vybrané parametry, které jsou k dispozici v datasheetu. [8]

Napájecí napětí	5-20 V ss
Délka pulsu/blokování	0,3 – 5 min
Provozní teplota	-15 až $+70^\circ\text{C}$
Výstup	3.3 V HIGH / 0 V LOW
Klidová spotřeba	$<50 \mu\text{A}$

Tab.1: Parametry PIR senzoru. Zdroj [8]

Proti datasheetu čidlo funguje již při hodnotě napájecího napětí 2,5 V. Při tomto napájecím napětí nelze předpokládat, že bude výstup 3,3 V. PIR senzor disponuje stabilizátorem napětí, který již pod hodnotu napájecího napětí 3,3 V nepracuje korektně. Je-li napájecí napětí rovno hodnotě 2,5 V ve výstupním napětí jsou 2 V, samozřejmě v době aktivity senzoru.



Obr.5: PIR senzor HC-SR501

4.1.2 ATmega328P

Vzhledem k realizaci a k jednoduchosti kódu jsme zvolili platformu Arduino, která obsahuje výše uvedený procesor. Celé zařízení je v plánu otestovat na platformě Arduino Nano.

ATmega328P 8-bitový mikroprocesor od firmy ATMEL konstrukcí, principem ho můžeme zařadit do architektury RISC (Reduced Instruction Set Computer). Tyto mikrokontroléry se vyznačují malou spotřebou, nízkou cenou a jednoduchostí kódu.

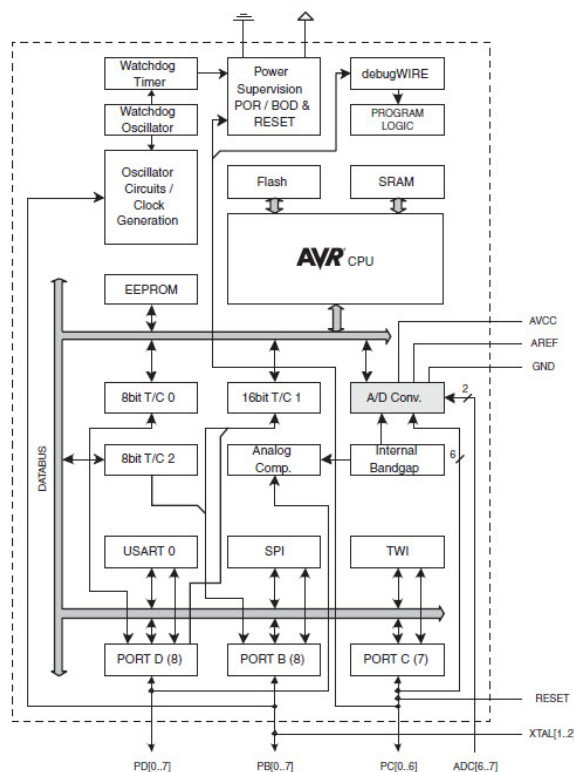
V následující tabulce jsou uvedené některé ze základních parametrů ATmega328P:

Napájecí napětí	1.8 – 5.5 V ss
Spotřeba v úsporném módu	0,1 μ A
Spotřeba v aktivním režimu	0.2 mA
Teplotní rozsah	-40 až 85 °C

Tab.2: Základní parametry ATmega328P. Zdroj [4]

Z pohledu vnitřní struktury má mikroprocesor 32x8 registrů spojené s ALU (aritmeticko-logickou jednotkou). Za jeden strojový cyklus je schopen vykonat až 131 instrukcí.

Dále disponuje FLASH pamětí o velikosti 32 kB. Paměť EEPROM 1 kB a SRAM která má velikost 2 kB. [4]



Obr.6: Blokové schéma ATmega328P. Zdroj [4]

Mikroprocesor má široký rozsah napájecího napětí, tudíž není jediný důvod proč ho nenapájet přímo z baterie.

4.1.3 Bezdrátový modul DRF4432F20



Obr.7: Bezdrátový modul DRF4432F20

Jedná se o bezdrátový modul, který obsahuje integrovaný obvod SI4432, anténu $50\ \Omega$ a krystal. Komunikace je zajištěna pomocí SPI rozhraní.

Rozsah pracovní frekvence je 240 až 930 MHz, pro naše využití přichází v úvahu volné pásmo 433 MHz. Dosah modulu uváděný výrobcem je až 1500 metrů. Jedná se o modul s citlivostí přijímače -121 dBm, jehož vysílač má výstupní výkon až 20 dBm. Napájecí napětí tohoto modulu je 1,8 V až 3,6 V.

Výrobce uvádí datový tok maximálně 256 kbps a podporuje následující modulace FSK/GFSK/OOK (frekvenční/digitální/amplitudová). Z pohledu spotřeby se jedná o poměrně úsporný modul v přijímacím stavu 18 mA, ve vysílacím 85 mA při jeho maximálním výkonu 20 dBm. Jedním z hlavních parametrů modulu je možnost přejít do úsporného režimu. V tomto módu je spotřeba skoro zanedbatelná a to nepatrných 15 nA.

Do toho režimu modul přivedeme pull-down odporem na SDN. Pokud je tedy na vývodu SDN logická jednička, modul se nachází v úsporném režimu, kdy jeho spotřeba klesá na 1 μ A. [5]

4.1.4 Baterie

Jako baterie je označováno složení dvou a více akumulátorů. Napětí na jednotlivých článcích se pohybuje v rozmezí od 1,2-4,2 V, záleží na konstrukci, typu elektrolytu a principu. Mezi základní typy akumulátorů lze zařadit například olověné (Pb), nikl-kadmiové (NiMH), lithium-iontové (Li-on), ale existuje i celá řada dalších.

Jedním z našich cílů je dlouhodobá výdrž baterie, tudíž odpadají články s vysokým samovybíjením. Rychlost samovybíjení u článků NiCd, NiMH je až 30 % kapacity za měsíc, v závislosti na okolní teplotě. Vzhledem k těmto požadavkům připadají k úvahu Li-Ion či Li-pol baterie. Pro odzkoušení při pokojové teplotě jsem vzhledem k pořizovací ceně použil Li-Ion články; pro venkovní použití by kvůli teplotní odolnosti byly vhodnější články Li-pol.

Rozsah napětí našich článků je od 2,7 – 4,2 V. Při hodnotě 4,2 V by měl mít článek kapacitu 3300 mAh. Kapacita je přímo úměrná životnosti. Čím starší článek, tím menší kapacita. Již při napětí 3 V jsme na jednotkách procent kapacity článku. Při hodnotě napětí 3 V by již bylo tedy dobré upozornit na vybití baterie a zvážit její výměnu.



Obr.8: Li-Ion články z notebookové baterie

4.1.5 Stabilizátor napětí

Jeden z hlavních úkolů v zadání práce je vysoká výdrž baterie – tzn. nízká spotřeba. Senzory budou napájeny z lithium-iontových baterií. Pro bezdrátový modul DRF4432F20 je potřeba napětí stabilizovat, jelikož tento modul lze napájet maximálním napětím 3,6 V. Pokud vezmeme v úvahu, že senzory budou napájeny Li-Ion akumulátory, napětí může dosáhnout až 4,2 V. Toto napětí by bylo pro bezdrátový modul destruktivní. Dalším parametrem, který musí stabilizátor splňovat, je maximální hodnota proudu. Pro tento stabilizátor je dovolen maximální proud 250 mA při 2,5 V. Maximální proud, který spotřebuje modul, je 85 mA a to pouze v době vysílání. Tato podmínka je bez výhrad splněna.

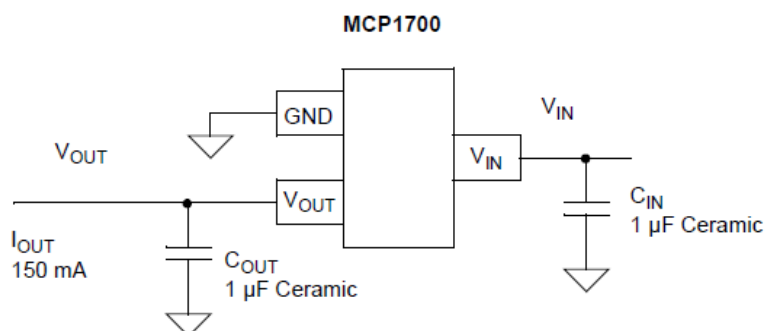
Zvolil jsem stabilizační napětí 2,5 V a to z důvodu, že pokud bychom zvolili větší napětí, nevyužili bychom veškerou energii z článku. Pro vysvětlení, při příkladném použití

stabilizátoru 3,3 V a zároveň napětí na baterii 3 V by nedošlo k napájení bezdrátového modulu DRF4432F20.

V úvahu tedy přichází stabilizátory s nízkým příčným proudem, vybral jsem hojně používaný MCP1700, jehož cena je průměrně **10 Kč**.

MCP1700:

- vstupní napětí: 2,3 – 6,0 V
- vlastní spotřeba: 1,6 – 4 μA
- teplotní rozsah: -65°C až $+150^{\circ}\text{C}$
- maximální proud: 250 mA



Obr.9: Základní zapojení stabilizátoru MCP1700. Zdroj [7]

4.2 Energetická bilance

Postup pro výpočet energetické bilance je převzatý z bakalářské práce: *Řízení dvoukřídle brány* [9].

Úsporný mód:

Jedná se o stav, kdy veškerá elektronika spí, je aktivní pouze čidlo, pro výpočet náboje spotřebovaného za den použijeme vztah (4.1), který pouze dále upravíme pro další komponenty.

$$Q_{PIR} = I_{PIR} * 24 = 50 * 10^{-6} * 24 = 1,2 \text{ mAh} \quad (4.1)$$

$$Q_{\mu P} = I_{\mu P} * 24 = 0,1 * 10^{-6} * 24 = 2,4 * 10^{-3} \text{ mAh}$$

$$Q_{modul} = I_{modul} * 24 = 15 * 10^{-9} * 24 = 360 * 10^{-6} \text{ mAh}$$

$$Q_{stabilizátor} = I_{stabilizátor} * 24 = 4 * 10^{-6} * 24 = 96,6 * 10^{-6} \text{ mAh}$$

Pro získání celkové denní spotřeby pouze jednotlivé hodnoty sečteme (4.2).

$$Q_{CELK/den} = Q_{PIR} + Q_{\mu P} + Q_{modul} + Q_{stabilizátor} = 1,202856 \text{ mAh} \quad (4.2)$$

$$t_{bat} = \frac{3300}{1,202856} = 2744 \text{ dní} = 7,52 \text{ let} \quad (4.3)$$

Na baterii o kapacitě 3300 mAh by senzor vydržel ve sleep módu běžet více než 7 let (4.3) Ovšem nelze předpokládat, že modul bude neustále v úsporném režimu.

Předpokládejme, že senzor bude narušen v průměru dvakrát denně. Je třeba vzbudit procesor, odeslat data a přijmout potvrzení. Senzor PIR jsem nastavil tak, že pokud zaznamenaná narušení, zůstane v log. 1 po dobu 1s (tuto hodnotu lze volit pomocí potenciometru přímo na senzoru).

Vlastní spotřeba stabilizátoru je udávána maximálně 4 μ A, doba $t_{\text{stabilizátor}}$ je dána součtem hodnot t_{transmit} a t_{receive} , pro výpočet jsem použil naměřené hodnoty. Spotřebu jednotlivých částí v době aktivity vypočítáme ze vztahu (4.4).

$$Q_{CPUon} = \frac{t_{zap} * I_{zap}}{3600} = \frac{18 * 10^{-3} * 0,9 * 10^{-3}}{3600} = 4,55 * 10^{-6} \text{ mAh} \quad (4.4)$$

$$Q_{PIR} = \frac{t_{PIR} * I_{PIR}}{3600} = \frac{1 * 70 * 10^{-6}}{3600} = 19,44 * 10^{-6} \text{ mAh}$$

$$Q_{transmit} = \frac{t_{transmit} * I_{transmit}}{3600} = \frac{2,5 * 10^{-3} * 80 * 10^{-3}}{3600} = 55,55 * 10^{-6} \text{ mAh}$$

$$Q_{receive} = \frac{t_{receive} * I_{receive}}{3600} = \frac{5 * 10^{-3} * 18,1 * 10^{-3}}{3600} = 25,14 * 10^{-6} \text{ mAh}$$

$$Q_{stabilizátor} = \frac{t_{stabilizátor} * I_{PstabilR}}{3600} = \frac{100 * 10^{-3} * 4 * 10^{-6}}{3600} = 111 * 10^{-9} \text{ mAh}$$

Celkovou spotřebu v době aktivity senzoru spočítáme sečtením jednotlivých hodnot (4.5)

$$Q_{aktive}(t_{zap} + t_{PIR} + t_{transmit} + t_{receive}) = \quad (4.5)$$

$$(4,55 * 10^{-6} + 19,44 * 10^{-6} + 55,55 * 10^{-6} + 25,14 * 10^{-6} + 111 * 10^{-9}) =$$

$$= 103,791 * 10^{-3} \text{ mAh}$$

$$Q_{2aktive} = 2 * Q_{aktive} = 207,582 * 10^{-3} \text{ mAh} \quad (4.6)$$

Z výpočtu lze vidět, že spotřeba v době kdy je senzor aktivní (2x denně) je asi 200x větší než pokud senzor spí celý den (4.6). Je tedy zbytečné provádět nějaké přesnější výpočty a můžeme tyto dvě hodnoty bezpochyby sečíst (4.7)

$$Q_{total} = 2 * Q_{aktive} + Q_{CELK/den} = 207,582 * 10^{-3} + 1,2024 = 1,4099 \text{ mAh} \quad (4.7)$$

Pro výpočet doby výdrže baterie, použijeme vztah (4.8), kde Q_{bat} je kapacita baterie a Q_{total} celková spotřeba při narušení 2x denně.

$$t = \frac{Q_{bat}}{Q_{total}} = \frac{3300}{1,4099} = 2341 \text{ dní} = 6,41 \text{ let} \quad (4.8)$$

Centrální jednotka musí dostávat od senzoru i další údaje, jako je stav baterie, dosah senzoru či jeho poškození. Pokud by centrální jednotka dostala tyto hodnoty dvakrát za den, byla by zachována spotřeba. Ovšem vzhledem k efektivitě zařízení je třeba odeslat paket s těmito daty častěji. Je ale třeba zvolit vhodný kompromis mezi dobou odeslání informačního paketu a výdrží baterie.

Pro výpočet počtu paketů jsme uvažovali kapacitu baterie 3300 mAh a její životnost 2 roky. Dosazení do vzorce by vypadalo následovně (4.9):

$$Q_{total1} = \frac{Q_{bat}}{t} = \frac{3300}{730} = 4,5205 \text{ mAh/den} \quad (4.9)$$

Odečteme spotřebu v úsporném módu (4.10):

$$Q_{-sleep} = Q_{total1} - Q_{CELK/den} = 4,5205 - 1,2024 = 3,3182 \text{ mAh} \quad (4.10)$$

Na vysílání paketů nám zbyla energie 3,3182 mAh. Pomocí jednoduchého výpočtu (4.11), zjistíme kolik můžeme odeslat denně paketů.

$$X_{paketů} = \frac{Q_{-sleep}}{Q_{aktive}} = \frac{3,3182}{103,791 \cdot 10^{-3}} = 31,97 = 32 \text{ paketů} \quad (4.11)$$

Při výdrži baterie 2 roky můžeme tedy odeslat 32 paketů denně, pokud bychom kapacitu baterie zvýšili dvakrát, byla by tato hodnota taktéž dvakrát větší, což by znamenalo 64 paketů. Od této hodnoty musíme odečíst uvažované přerušení 2x denně. To se rovná denně 62 informačních paketů, v přepočtu to je 1 paket za 15 minut.

Kapacita baterie	Informační paket 1x za:
3300	30 min
6600	15 min
9900	7,5 min

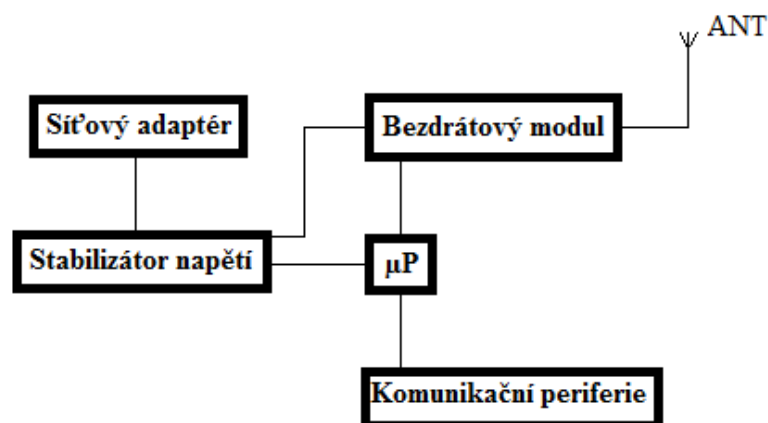
Tab.3: Srovnání výdrže dle kapacit baterie

Výpočet je platný pro kapacitu baterie 3300 mAh, ovšem reálná kapacita článku bude jiná. Je třeba také brát v úvahu to, že z baterie nikdy nelze získat 100% energie.

5 Centrální jednotka

Centrální neboli hlavní řídící jednotka je srdcem celého zařízení. Zde už tolik nezáleží na spotřebě, bude nejspíše napájena ze síťového napětí pomocí adaptéru. Hlavní jednotka by měla zajišťovat komunikaci se senzory a s uživatelem.

Jádrem je opět mikroprocesor ATMega328P a samozřejmě bezdrátový modul DRF4432F20, který zajišťuje sběr dat z jednotlivých senzorů. Nakonec je potřeba zmínit i součástky zajišťující úpravu napětí pro jednotlivé části.



Obr.10: Blokové schéma centrální jednotky

Komunikační periferie zajišťuje odesílání informace o senzorech. Pro tuto konstrukci jsem zvolil GSM/GPRS modul SIM800L, který zajišťuje odesílání informací o jednotlivých senzorech pomocí GPRS a GSM. Tento modul komunikuje s mikroprocesorem po sériové lince UART.

Další variantou byla možnost zvolit modul vybavený ethernetem a data odesílat prostřednictvím internetového připojení. Po zvážení nutnosti zajišťovat kabelové připojení k internetu, jsem tuto možnost zavrhl.

5.1 GSM/GPRS komunikace

Tento modul má za úkol zajišťovat komunikaci mezi uživatelem a centrální jednotkou. Disponuje také možností komunikace přes GPRS, kterou využijí pro zobrazení stavu senzorů pomocí webového rozhraní. Výhodou tohoto modulu jsou jeho malé rozměry, nízká klidová spotřeba a cena. Komunikace s mikroprocesorem probíhá po sériovém portu. Výrobce zveřejňuje i poměrně široký “Commands manual” kde lze dohledat jednotlivé příkazy. [10]

SIM800L:

Napájecí napětí	3,4 – 4,4 V ss
Power down mode	50 μ A
Sleep mode	1-2 mA
Maximální proud	2 A (přihlašování SIM do sítě)
Formát SIM	micro

Tab.4: Parametry SIM modulu

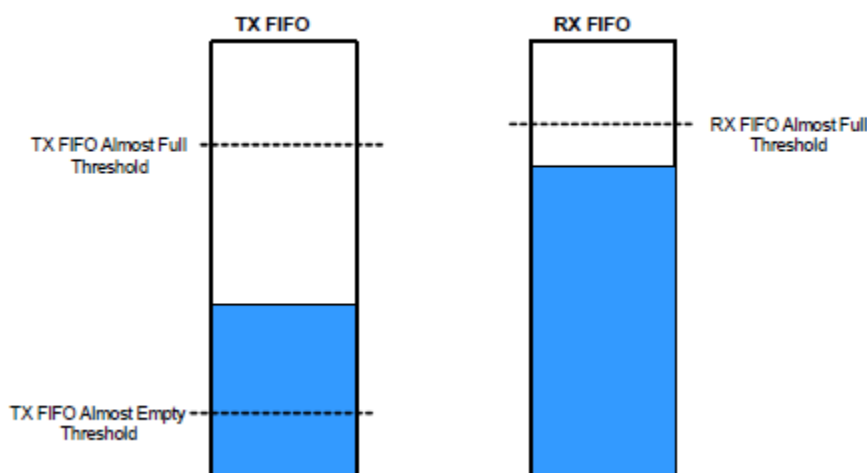


Obr.11: SIM800L. Zdroj [6]

5.2 Komunikace se senzory

Komunikace centrální jednotky se senzory je zajištěna pomocí bezdrátových modulů DRF4432F20. Je šifrována 128bitovým standardem AES. Komunikace s mikroprocesorem probíhá po sběrnici SPI.

Čip SI4432 je vybaven dvěma FIFO zásobníky pro RX a TX, které mají velikost 64 bitů. Pokud tyto zásobníky přetečou, nastává přerušení. Toto je potřeba softwarově ošetřit.



Obr.12: FIFO zásobník. Zdroj [5]

Fáze komunikace tedy lze rozdělit na dva stavy: na stav přijímání dat RX a na stav vysílání TX.

TX – vysílání:

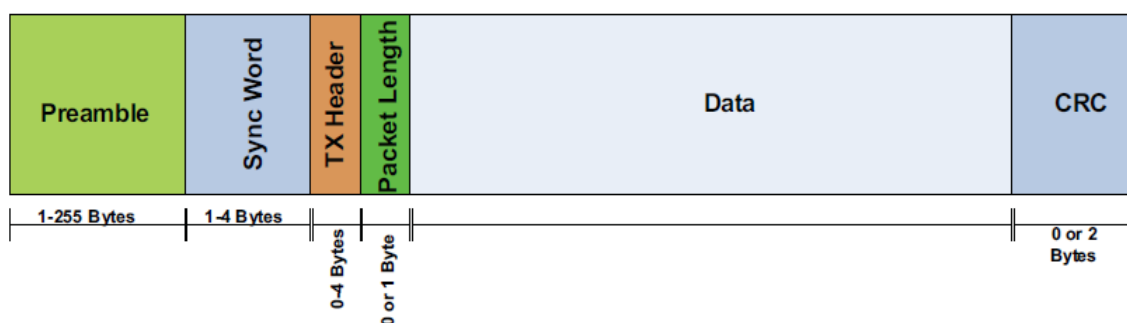
V první řadě dojde k zapnutí napětí, oscilátoru, fázového závěsu a ke kalibraci. V druhé fázi se zapne zesilovač a vyšle se paket.

RX – příjem:

První část je stejná jako u TX. Ve druhé dochází k zapnutí přijímače LNA a slučovače. Posledním krokem je zapnutí příjmu.

Po odeslání potvrzovacího paketu (informaci že se data přenesla), lze bezdrátový modul opět převést do sleep módu.

Složení paketu:



Obr.13: Konfigurace paketu. Zdroj [5]

- preamble – automatická detekce 0x00 nebo 0xff
- sync word - synchronizační slovo
- tx header – odkud, kam a co, jedná se o jakousi inicializaci
- packet lenght - velikost paketu
- data:

- číslo vysílače	4B
- informace o napětí baterie	1B
- PIR detekce	1B
- rezerva	4B
Kontrola pro přetečení FIFO zásobníku	2B

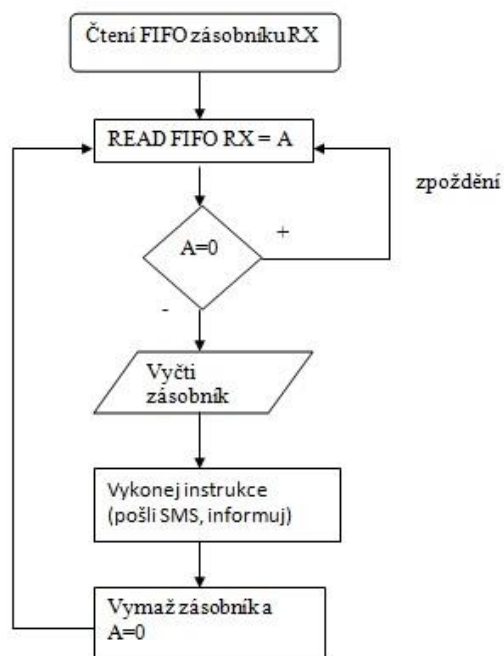
K vysílání dat je k dispozici již existující knihovna RF22.h

Ukázka komunikace s potvrzovacím paketem:

```
Serial.println("Sending to rf22_server");
uint8_t data[] = "ahoj!";           //vložení dat
rf22.send(data, sizeof(data));       //inicializace      velikosti
paketu

rf22.waitPacketSent();               //modul čeká na odpověď
uint8_t buf[RH_RF22_MAX_MESSAGE_LEN];
uint8_t len = sizeof(buf);

if (rf22.waitForAvailableTimeout(600)) //čekám 600ms
{
    if (rf22.recv(buf, &len))         //dostal sem odpověď
    {
        Serial.print("taky te zdravim: ");
        Serial.println((char*)buf);
    }
    else
    {
        Serial.println("neodpovídá"); //nedostal jsem odpověď
    }
}
else
{
    Serial.println("porad neodpovídá, bezi komunikace?");
}
delay(500);
}
```



Obr 14 Vývojový diagram pro příjem dat

Procesor kontroluje, jestli se neobjeví paket v RX FIFO zásobníku, pokud je zásobník prázdný, po určité době dochází opět k jeho kontrole.

Jakmile se ale v zásobníku objeví paket, data se přepošlou do mikroprocesoru, kde dochází k jeho rozkódování. Dochází k rozložení paketu, kde se dle hlavičky zjistí, z kterého senzoru přišel paket.

V tuto chvíli již procesor komunikuje s modulem GSM/GPRS a dochází k odeslání SMS a zaznamenání přerušení na internetovou stránku pomocí datového přenosu.

5.3 Webové rozhraní

Jelikož modul SIM800L disponuje možností připojení k internetu, je tedy možné nepřetržitě monitorovat informace o jednotlivých senzorech. Celý systém je konstruován tak, že je možno ho sledovat pomocí běžného webového prohlížeče. Využívá se zde několik PHP skriptů a MySQL databáze. Informace jsou sesbírány z jednotlivých senzorů a následně uloženy do interní EEPROM paměti a odeslány na webový server, kde jsou uživateli k dispozici. Na SIM kartě, které je umístěna v modulu, je aktivován datový balíček. Při dnešních cenách mobilních služeb si není třeba lámat hlavu s velikostí dat zasílaných přes GPRS.

5.4 Obsluha GSM

Je třeba zajistit neustálou informovanost o zabezpečeném prostoru. Není možné pozorovat stav zabezpečení pouze přes internet. Pokud tedy některý ze senzorů detekuje narušení, odešle informaci centrální jednotce a ta informuje uživatele, buď pomocí SMS nebo uskutečněním hovoru.

Pomocí SMS se lze taktéž informovat o stavu zabezpečení, stačí zaslat dotaz centrální jednotce a ta okamžitě odpoví o stavu zabezpečení.

Dále je třeba zajistit odemčení a uzamčení prostoru. Který nebude třeba neustále hlídat, ale také provádět v prostoru práci, manipulaci nebo údržbu. Centrální jednotka disponuje signalizační LED diodou, která signalizuje aktivitu zabezpečovacího systému.

5.5 Napájení centrální jednotky

U centrální jednotky nelze použít tutéž koncepci zdrojové části jako u senzorů. A to z toho důvodu, že tato část je navíc osazena modulem pro komunikaci GSM a GPRS. Při registraci SIM karty dochází ke špičkové spotřebě, která dosahuje špičkově až 2 A, je tedy třeba použít tvrdý zdroj, aby nedošlo k poklesu napětí a následnému nepřihlášení modulu do sítě.

Při měření jsem zaznamenal, že odběr při registraci SIM karty do sítě nepřekročí 1 A. K napájení centrální jednotky použijeme jeden z dostupných adaptérů 9-14 V. Na trhu je poměrně široká nabídka, lze i za nízkou cenu koupit kvalitní stejnosměrný zdroj.

Stabilizátor napětí bylo třeba vybírat dle těchto dvou kritérií:

- volit stabilizované napětí tak aby bylo možné tímto napětím napájet všechny komponenty
- pamatovat na špičkový odběr GSM/GPRS při registraci SIM do sítě

Vzhledem k těmto požadavkům přišel v úvahu stabilizátor **LM317** vyráběný v mnoha pouzdrech. Pro naši koncepci jsem vybral vhodnější pouzdro SMD SOT-223.

Je třeba dodržet podmínku a to aby napětí $V_{input} - V_{output}$ bylo v rozsahu 3 – 40 V, což dokazuje vztah (5.1). V_{output} je zvoleno tak, aby vyhovovalo všem komponentům a nebylo třeba dalších úprav, zvolili jsme U_0 3,5 V, ze vztahu (5.2) je nutno vypočítat velikosti odporu k obvodovému zapojení LM317 do obvodu. [11]

$$V_{input} - V_{output} = 9 - 5 = 4 \text{ V} \quad (5.1)$$

$$R_2 = R_1 * \left(\frac{U_0}{1,25} - 1 \right) \rightarrow R_1 = 110 \Omega \text{ a } R_2 = 220 \Omega \quad (5.2)$$

Spotřeba je špičkově kolem 1 A, není tedy třeba výkonný napájecí adaptér.

K dispozici byl napájecí adaptér BKE, s výstupním napětím 13,8 V a výstupní proudem 1800 mA. Pro naši koncepci poněkud naddimenzovaný, ale dostačující.

6 Návrh a realizace

V této kapitole bude popsán průběh realizace, dle výše uvedeného návrhu. Veškerá dokumentace je k dispozici na vloženém CD.

6.1 Realizace plošného spoje

Nákres schéma zapojení byl realizován v programu Eagle. Samotné schéma i návrhy obou desek plošných spojů je zařazen do přílohy tohoto dokumentu.

K samotné výrobě jsem využil možnosti nechat DPS zhotovit ve školní dílně na URELu. V návrhu bylo nutné dodržet základní instrukce výroby:

- otvor pro prokovení: 0,6 mm
- velikost mezikruží plochy pro průměr vrtáku 0,6 mm: 0,4 mm

Třída přesnosti byla zvolena s ohledem na velikost součástek a DPS.

Tyto základní parametry zajistí bezpečné prokovení otvoru. Další parametry pro výrobu DPS na fakultě jsou součástí přílohy dokument: Výroba DPS Urel[12]

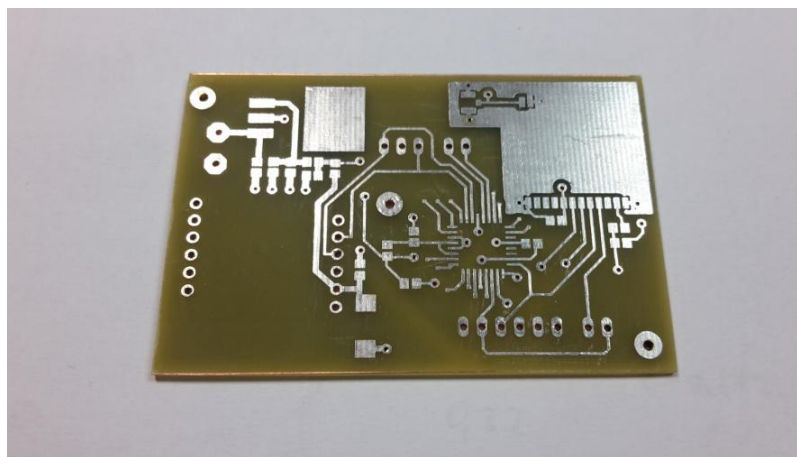
Základní návrh byl doplněn tím, že jednotlivé volné piny mikroprocesoru byly vyvedeny na DPS jako zkušební body pro případné připojení diody LED při ožívování. Na plošném spoji centrální jednotka jsem vyvedl I2C sběrnici pro případné budoucí připojení LCD displeje.

6.2 Osazení DPS a oživení

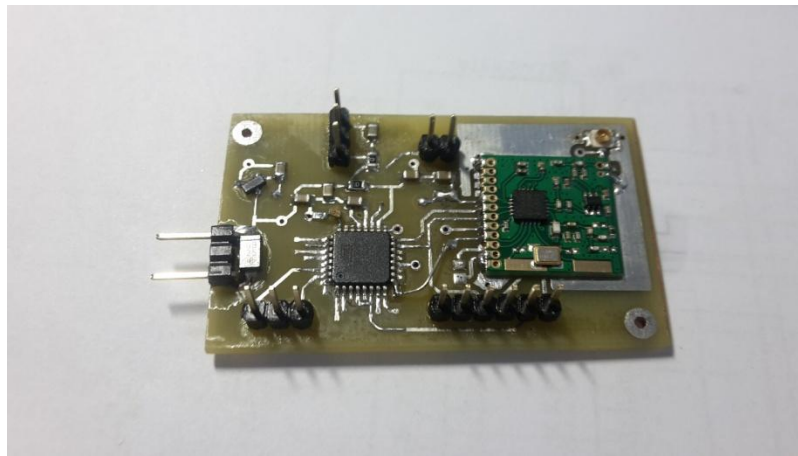
Všechny součástky potřebné k realizaci projektu byly zakoupeny v zahraničních obchodech. Tím se podařilo snížit cenu na minimum, ovšem za delší dobu dodání.

DPS vyrobené ve školní dílně nejsou vybaveny ochranou maskou. Z důvodu ochrany byly pocínovány a osazeny součástkami. V prvním kroku byly osazeny mikroprocesory a rádiové moduly. Následně zdrojová část. Po ověření správnosti napájecího napětí byly osazeny nulové odpory nebo cínové propojky.

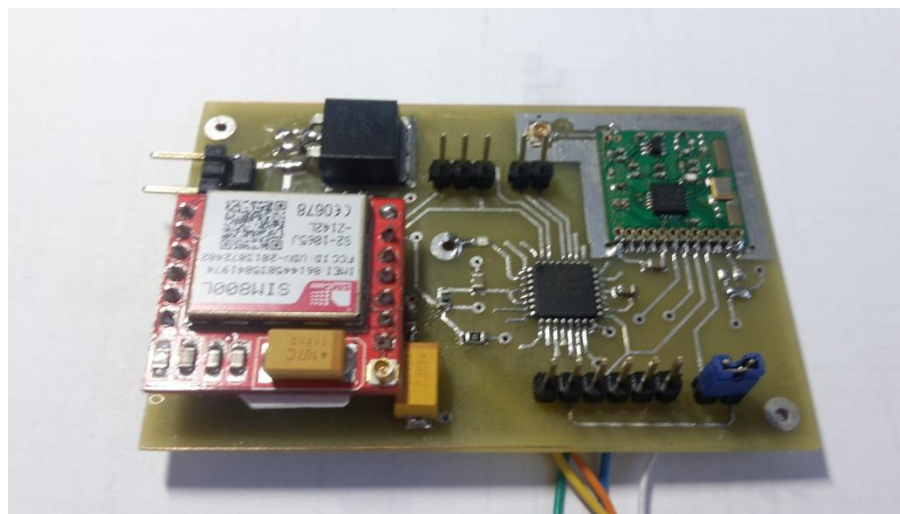
6.2.1 Ukázky průběhu práce s DPS



Obr.15: Cínování DP



Obr.16: Osazení DPS senzoru



Obr.17: Osazení DPS centrální jednotka

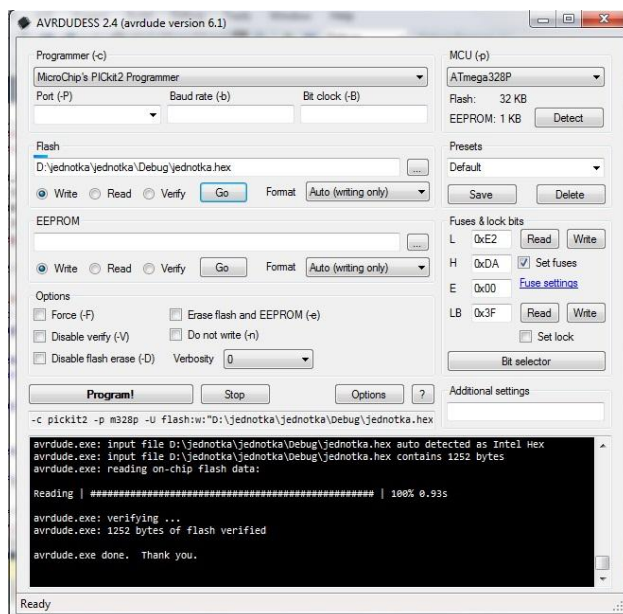
6.3 Programování

K programování byla využita SPI sběrnice. Jako programátor byl zvolen programátor Pickit2, který umožňuje programování PIC a zároveň i AVR. Program byl psán v jazyce C a odladován v programu Atmel Studio 7.0. Ovšem tento program neumožňuje připojení programátoru Pickit2. Bylo tedy nutné použít pro nahrání programu do mikroprocesoru ulitu AVRDUDESS, ta umožňuje nastavení pojistek, kontrolních bitů a zapsání samotného HEX souboru do paměti mikroprocesoru.



Obr.18: Programátor PICKIT2

Pro ověření základních parametrů zařízení bylo testováno na platformě Arduino a programováno v Arduino IDE. Ovšem vzhledem k široké škále dostupných knihoven, které byly pro realizaci zbytečně složité nebo k nim dokonce nebyla dostupná žádná dokumentace, jsem přistoupil k psaní kódu od úplného začátku. Od nastavování základních registrů až po definování funkcí pro zápis na UART nebo SPI.



Obr.19: AVRDUDESS

7 Ovládání celého zařízení

Základním požadavkem na ovládání celého zařízení je jeho jednoduchost. Komunikace centrální jednotky s uživatelem je zajištěna pomocí mobilního telefonu. Jednoduchým zasláním krátké textové zprávy „LOCK“ a „UNLOCK“ lze zamknout nebo odemknout zabezpečení prostor. To signalizuje LED dioda umístěná v centrální jednotce. Pokud dioda svítí, je prostor zamčen a zabezpečovací systém je aktivní. Pokud dojde k zabezpečenému prostoru, přijde na mobilní telefon SMS s textem „senzor X narušen“, kde X značí číslo senzoru od 1 do 4. Případně pokud by uživatel požadoval ekonomičtější variantu lze oznámení o narušení v programu přepsat na krátké prozvonění. Tím se minimalizují provozní náklady zabezpečovacího systému na naprosté minimum.

Zabezpečovací systém taktéž hlídá, jestli jsou jednotlivé senzory v kontaktu s centrální jednotkou, pokud některý senzor z nějakého důvodu nekomunikuje. Je uživatel o této události obeznámen zasláním SMS zprávy.

8 Cenová kalkulace

Velká část potřebných komponentů a součástek byla zakoupena v zahraničních internetových obchodech. To se odrazilo na jejich ceně, ale také delší době dodání.

Ceny jsou uvedeny v přepočtu na Kč.

Přehled:

Centrální jednotka:

- Bezdrátový modul DFR4432D20:	52 Kč
- Mikroprocesor ATmega328p	34 Kč
- 7x kondenzátor 10nF	7 Kč
- Stabilizátor LM317DT	13 Kč
- Konektor SMA	17 Kč
- Kolíková lišta	9 Kč
- Nulové odpory	1 Kč
<u>Celkem:</u>	<u>133 Kč</u>

Senzorová jednotka:

- Bezdrátový modul DFR4432D20	52 Kč
- Mikroprocesor ATmega328p	34 Kč
- 5x kondenzátor 10nF	5 Kč
- Kolíková lišta	9 Kč
- Nulové odpory	1 Kč
- Konektor SMA	17 Kč
- PIR senzor	20 Kč
- Stabilizátor MCP1700	10 Kč
<u>Celkem:</u>	<u>148 Kč</u>

Při našem složení celého zařízení o celkovém počtu: jedné senzorové jednotky a čtyř senzorů. Je cena celého zabezpečovacího systému 725 Kč. To je asi 4x méně než nejlevnější komerčně dostupné zařízení.

9 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout bezdrátový senzor pro detekci narušení prostoru.

Návrh je popsán ve čtvrté kapitole, v níž se postupně rozebírají funkce jednotlivých součástí senzoru, kde je důsledek kladen na spotřebu.

Jako další cíl bylo navrhnout vhodné řešení centrální jednotky. Tento bod bakalářské práce je popsán v kapitole páté, kde jsou také zaneseny informace.

Mimo hlavní zadání práce jsou umístěny v dokumentu další kapitoly. V kapitole druhé jsou vyzdvihnuty některé z komerčně vyráběných zabezpečovacích zařízení a následně obecně shrnuty jejich parametry. V této kapitole bych rád upozornil na ceny jednotlivých zařízení, které se oproti námi konstruovanému zařízení značně liší.

V nadcházející kapitole jsou bližší informace s koncepcí navrhovaného zabezpečovacího systému. V rámci bakalářské práce hodlám celé zařízení realizovat a ověřit jeho funkčnost.

V kapitole šesté je popsán postup výroby celého zabezpečovacího zařízení. Od výroby plošného spoje až k programové části. S touto kapitolou je úzce spojena nadcházející kapitola, kde je popsáno seznámení s obsluhou zabezpečovacího systému.

V předposlední kapitole se věnuji cenové kalkulaci celého zařízení. Největší obtíží celé realizace bylo rozhodnutí programovat celé zařízení v C v Atmel Studiu, bez použití dostupných knihoven. V průběhu realizace jsem se rozhodl program přepsat a využít dostupné knihovny pro Arduino, které mi práci značně usnadnily, avšak již nezbyl potřebný čas k realizaci sledování jednotlivých bran přes internetové rozhraní.

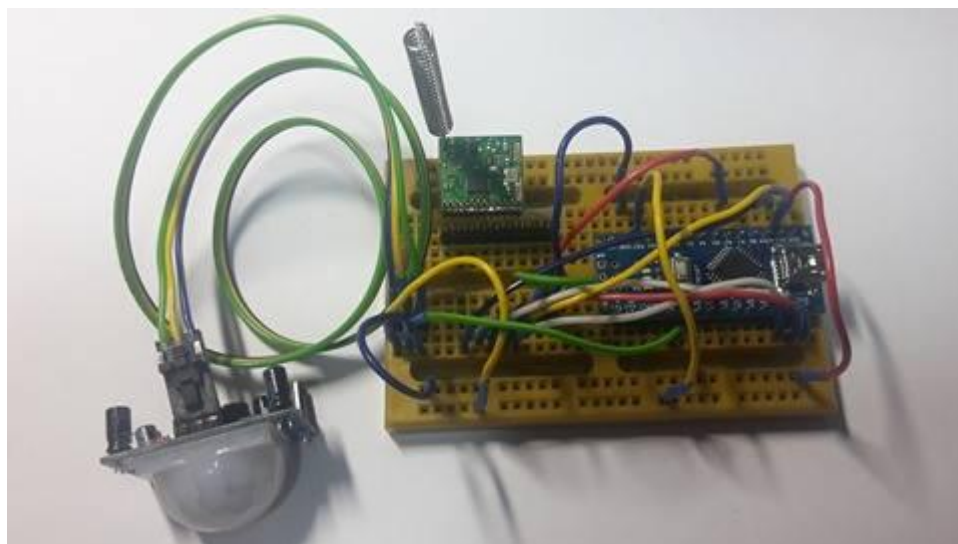
Funkčnost celého zařízení byla ověřena v praxi a zařízení nevykazovalo závažné chyby, které by zabraňovaly provozu.

Literatura

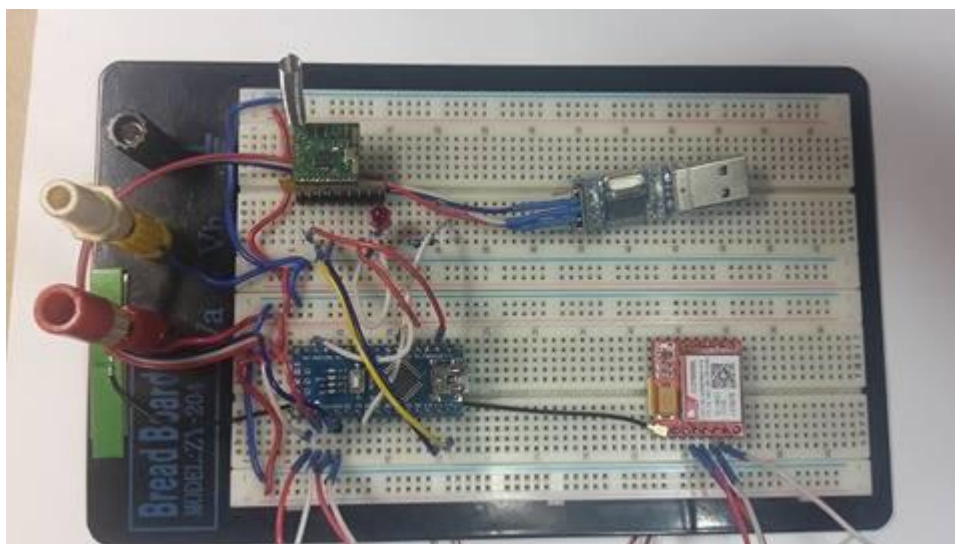
- [1] Telmo a.s. *Jabloshop* [online]. 2016. [cit. 2016-11-28]
Dostupné z: <http://www.jabloshop.cz/jk-82-oasis-sada-pro-zabezpeceni-objektu>
- [2] OKAY s.r.o. *Okay elektro* [online]. © 2010 - 2016 by OKAY. [cit. 2016-11-28]
Dostupné z: <https://www.okay.cz/iget-security-m2b/#nopop>
- [3] AB ALARM s.r.o. *Abaalarm* [online]. 2015 [cit. 2016-10-10]
Dostupné z: <http://www.abalarm.cz/ishop/cs/ustredny-micra/1935-micra-set-ms1-kompletni-zabezpecovaci-bezdratovy-set.html>
- [4] Atmel. *ATmega328/P. datasheet* [online]. 11.2016 [cit. 2016-12-05].
Dostupné z: http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_datasheet.pdf
- [5] Silicon Laboratories. *Si4430/31/32 ISM TRANSCEIVER* [online]. 10.2010.
[cit. 2016-05-18].
Dostupné z:
<https://www.silabs.com/Support Documents/TechnicalDocs/Si4430-31-32.pdf>
- [6] Shangai SIMCom Wireless Solutions Ltd. *SIM800L_Hardware_Design_V1.00*.
[online] 2013. [cit. 2016-12-03]
Dostupné z: <http://letmeknow.fr/blog/wp-content/uploads/2015/10/SIM800L.pdf>
- [7] Microchip Technology Inc. *MCP1700. datasheet* [online]. 2005-2013. [cit. 2016-11-30]
Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20001826C.pdf>
- [8] Elec Freaks. *HC--SR501 Body Sensor Module* [online]. 2011-6-3 [cit. 2016-11-30]
Dostupné z: <http://elecfreaks.com/store/download/datasheet/sensor/DYP-ME003/Specification.pdf>
- [9] KOŽDOŇ, O. *Řízení dvoukřídle brány*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 30 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.
- [10] Shangai SIMCom Wireless Solutions Ltd. *SIM800 Series_AT Command Manual_V.101*.
[online] 2013. [cit. 2016-12-07]
Dostupné z:
https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/sim800_series_at_command_manual_v1.01.pdf
- [11] Texas Instruments Incorporated. *LM317. datasheet* [online] 2016. [cit. 2016-12-07]
Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf>
- [12] A. Vanžura, J. Voráč. *VÝROBA PLOŠNÝCH SPOJŮ*. [online] 2012. cit [2017-5-28]
Dostupné z: https://www.urel.feec.vutbr.cz/web_documents/dilna/PlosneSpoje2010.pdf
- [13] Arduino klony, projekty, rady a tipy pro vývoj HW a FW. *Arduino klony, projekty, rady a typy pro vývoj HW a FW* [online]. Copyright © 2017 Ing. Petr Foltýn [cit. 29.05.2017].
Dostupné z: <http://www.arduinodev.cz>

Přílohy

- fotografie zapojení senzoru na nepájivém poli
- fotografie zapojení centrální jednotky na nepájivém poli
- schémata, kódy a podklady pro výrobu DPS jsou přiloženy na CD



Obr 20 Prototyp senzoru na nepájivém poli



Obr 21 Prototyp centrální jednotky na nepájivém poli